



# **ESTUDI DE L'EFECTE DELS ULTRASONS EN LES PROPIETATS REOLÒGIQUES DE DIFERENTS MIDONS PRESENTS EN VEGETALS**

Treball final de grau

Enginyeria Alimentària

Autora: Marta Boronat Dematthey

Directors: Francesc Sepulcre Sánchez i  
Montserrat Pujolà Cunill

Setembre 2017

## **RESUM:**

Actualment hi ha molt interès a investigar la utilitat dels ultrasons en la indústria alimentària pels seus possibles beneficis a l'hora d'optimitzar i millorar processos. Aquest treball té com a objectiu principal avaluar l'aplicació dels ultrasons sobre purés de patata i pastanaga elaborats amb producte fresc per veure'n les afectacions sobre paràmetres reològics. La importància de l'estudi rau en la possibilitat de poder controlar aquests paràmetres mitjançant els ultrasons en lloc d'altres mètodes com l'aplicació d'additius. Per dur a terme el projecte s'han triat dues varietats de patata amb diferent contingut de midó (Monalisa i Red Pontiac) i una de pastanaga (Nantesa) i s'han sotmès a diferents temps d'ultrasons (0, 5 i 20 min). Posteriorment també se'ls han aplicat dos tractaments tèrmics (microones o ebullició). Els purés han estat analitzats mitjançant un viscosímetre rotacional. Dels resultats obtinguts s'han avaluat els paràmetres de viscositat, tixotropia i límit elàstic segons el temps de sonicació i el tractament tèrmic. S'ha obtingut com a resultat principal que l'ebullició emmascara el possible efecte dels ultrasons fent que les mostres tractades d'aquesta manera presentin uns valors reològics més baixos. També podem dir que, en general, els ultrasons provoquen la disminució dels paràmetres esmentats i que a major temps de tractament l'efecte augmenta.

**Paraules clau:** patata, pastanaga, viscositat, tixotropia, límit elàstic, puré.

## **RESUMEN:**

Actualmente hay mucho interés en investigar la utilidad de los ultrasonidos en la industria alimentaria por sus posibles beneficios a la hora de optimizar y mejorar procesos. Este trabajo tiene como objetivo principal evaluar la aplicación de los ultrasonidos sobre purés de patata y zanahoria elaborados con producto fresco para ver las afectaciones sobre parámetros reológicos. La importancia del estudio recae sobre la posibilidad de poder controlar estos parámetros mediante los ultrasonidos en vez de otros métodos como la aplicación de aditivos. Para llevar a cabo el proyecto se han elegido dos variedades de patata con diferente contenido de almidón (Monalisa y Red Pontiac) y una de zanahoria (Nantesa) y se han sometido a diferentes tiempos de ultrasonidos (0, 5 y 20 min). Posteriormente también se les han aplicado dos tratamientos térmicos (microondas o ebullición). Los purés han sido analizados mediante un viscosímetro rotacional. De los resultados obtenidos se han evaluado los parámetros de viscosidad, tixotropía y límite elástico según el tiempo de tratamiento de ultrasonidos y el tratamiento térmico. Se ha obtenido como resultado principal que la ebullición enmascara el posible efecto de los ultrasonidos haciendo que las muestras tratadas de este modo presenten unos valores reológicos más bajos. También podemos decir que, en general, los ultrasonidos provocan la disminución de los parámetros mencionados y que a mayor tiempo de tratamiento el efecto aumenta.

**Palabras clave:** patata, zanahoria, viscosidad, tixotropía, límite elástico, puré.

## **ABSTRACT:**

Nowadays there is deep interest in investigating the use of ultrasounds in the food industry because of its possible benefits when it comes to optimizing and improving processes. The main objective of this project is to evaluate the application of ultrasound on fresh potato and carrot purees to see the effects on rheological parameters, and therefore, how it affects starch, which is responsible for most of these parameters. The importance of the study lies in the possibility of being able to control these parameters through ultrasound instead of other methods, such as the application of additives. To carry out the project, two varieties of potato with different starch content (Monalisa and Red Pontiac) and one of carrots (Nantesa) have been selected and subjected to different times of ultrasound (0, 5 and 20 min). Afterwards, two thermal treatments (microwaves or boiling) have been applied too. The purees have been analyzed by a rotational viscometer. With the obtained results, we have evaluated the viscosity, thixotropy and yield stress parameters according to sonication time and thermal treatment. The main result shows that boiling covers the possible effect of ultrasound because the samples treated in this way present lower rheological values. We can also conclude that, in general, ultrasounds help to decrease these parameters and that in a longer treatment, this effect increases.

**Key words:** Potato, carrot, viscosity, thixotropy, yield stress, purees.

## Índex

1. Introducció .....	7
1.1. Ultrasons .....	7
1.2. Efectes i aplicacions dels ultrasons en aliments .....	9
1.3. El midó .....	13
1.4. Efectes dels ultrasons sobre el midó .....	15
2. Objectius .....	16
3. Materials i mètodes .....	17
3.1. Matèries primeres .....	17
3.2. Equips utilitzats .....	18
3.2.1. Bany d'ultrasons .....	18
3.2.2. Reòmetre .....	18
3.3. Tractaments tèrmics .....	19
3.4. Disseny experimental .....	20
3.5. Paràmetres analitzats .....	23
3.5.1 Viscositat .....	23
3.5.2. Tixotropia .....	23
3.5.3. Límit elàstic basat en el mètode de la rampa .....	24
3.6. Anàlisi de dades .....	25
4. Resultats i discussió .....	26
4.1. Viscositat .....	26
4.2. Tixotropia .....	30
4.3. Límit elàstic basat en el mètode de la rampa .....	33
5. Conclusions .....	36
6. Bibliografia .....	37
6.1. Recursos electrònics .....	38

## Índex de figures, taules i imatges

Figura 1. Cavitació ultrasònica. Font: (Suslick, 1994) .....	8
Figura 2. Efectes dels ultrasons. Font: adaptat de (Soria & Villamiel, 2010a) .....	9
Figura 3. Esquema de l'esquelet d'amilosa (esquerra) i de l'amilopectina (dreta). Font: (Burgess Clifford, n.d.) .....	13
Figura 5. Organització estructural d'un grànul de midó. Font: adaptat de (Bertoft & Blennow, 2016b).....	14
Figura 6. Nivells d'organització estructural del midó. Font: adaptat de (Gous, Fox, Gous, Gilbert, & Fox, 2015).....	14
Figura 7: Disseny experimental .....	22
Figura 8. Exemple de cicle tixotròpic. Font: elaboració pròpia .....	24
Figura 9. Exemple gràfic viscositat/tensió tallant .....	25
Figura 10. Viscositats segons tractament tèrmic i d'ultrasons en patata Monalisa .....	27
Figura 11. Viscositat segons tractament tèrmic i d'ultrasons en patata red pontiac ....	28
Figura 12. Viscositat segons tractament tèrmic i d'ultrasons en pastanaga.....	29
Figura 13. Viscositats de les varietats Monalisa i Red Pontiac tractades al microones .	30
Figura 14. Àrea tixotòpica segons el tractament tèrmic i d'US en la varietat Monalisa	31
Figura 15. Gràfic comparatiu de l'àrea tixotòpica segons el tractament tèrmic i d'US en Red Pontiac.....	31
Figura 16. Gràfic comparatiu de l'àrea tixotòpica segons el tractament tèrmic i d'US en PAS .....	32
Figura 17. Límit elàstic basat en el mètode de la rampa en la varietat monalisa .....	34
Figura 18. Límit elàstic basat en el mètode de la rampa en la varietat red pontiac .....	35
Figura 19. Límit elàstic basat en el mètode de la rampa en pastanaga .....	35

Taula 1. Aplicacions dels ultrasons al processat d'aliments. Font adaptat de (Chemat & Khan, 2011)	12
Taula 2. Composició nutricional mitjana de la patata. Font USDA	17
Taula 3. Composició nutricional mitjana de la pastanaga. Font: USDA	18
Taula 4. Mostres, tractaments i repeticions realitzades	22
Taula 5. Taula resum de valors de límit elàstic	33
Imatge 1. Bany d'ultrasons Branson 2510 .....	18
Imatge 2. Reòmetre Haake Viscotester (esquerra) i sondes del reòmetre (dreta) .....	19

## 1. Introducció

### 1.1. Ultrasons

Els ultrasons són ones d'alta freqüència, per sobre dels 16 kHz (Soria & Villamiel, 2010a), inaudibles per l'oïda humana. Es comporten físicament igual que la resta d'ones.

S'utilitzen quotidianament en molts aparells com els xiulets per a gossos, alarmes antirobatori, per fer diagnòstic amb la imatge, tractaments de fisioteràpia o als sonars de vaixells i submarins. Actualment estan sent integrats en altres sectors com la indústria química i la del processat d'aliments.

Les longituds d'ona entre les ones de compressió dels ultrasons són de 3-10 cm, mides molt superiors a l'escala molecular, per tant els efectes produïts pels ultrasons no són causats directament per la interacció de l'ona amb les molècules. No obstant els ultrasons causen un altre fenomen al fluid on són aplicats, la cavitació.

La cavitació és la formació, creixement i el posterior col·lapse de bombolles de vapor (Fig 1) . Quan l'ona ultrasònica passa a través del fluid crea ones de compressió i expansió. En el moment de l'expansió les molècules se separen les unes de les altres; si aquesta força és major a la tensió del fluid es creen 'cavitats' al seu interior que donaran lloc a les bombolles, per tant, la intensitat de la cavitació dependrà també de les qualitats del fluid on s'apliquin els ultrasons. En col·lapsar les bombolles, es produeixen augments de temperatura (fins a 5000 K) i pressió (50 MPa) bruscs que causen canvis físics i químics. Sobre les molècules d'aigua la cavitació també hi té efecte, ja que pot arribar a trencar-les i formar radicals lliures ( $\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H} + \bullet\text{OH}$ ) que són altament reactius. (Terefe, Sikes, Juliano, & Plains, 2016).



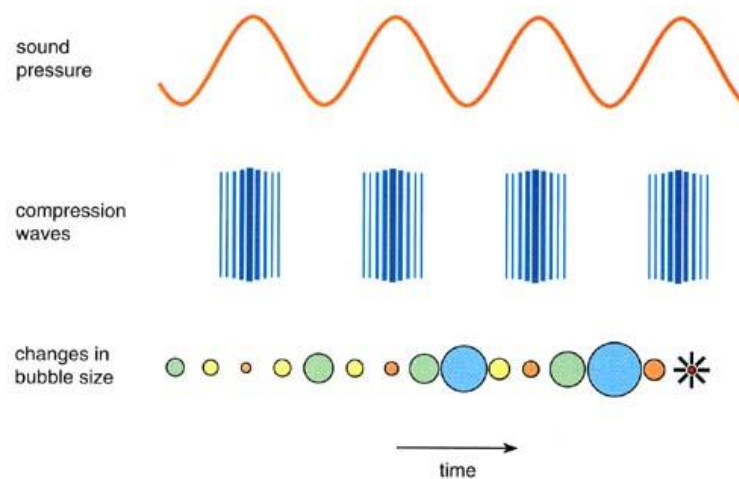


Figura 1. Cavitació ultrasònica. Font: (Suslick, 1994)

Com s'observa a la figura 1 l'ona sonora transmesa pel medi elàstic forma ones de compressió i expansió que al seu temps provoquen la formació de les bombolles de cavitació. Aquestes bombolles aniran absorbint l'energia dels ultrasons i aniran creixent fins a implosionar causant altes temperatures, pressions i forces tallants. Com a resultat de totes les implosions la temperatura del bany d'ultrasons va augmentant.

Podem classificar els ultrasons en dues categories. La primera utilitza ones d'alta freqüència (100 kHz – 1 MHz) i baixa intensitat ( $<1 \text{ W/cm}^2$ ) i es fa servir com a tècnica analítica per saber diverses qualitats fisicoquímiques de l'aliment però no l'afecta a nivell estructural. En canvi, els coneguts com a “*power ultrasound*” utilitzen baixes freqüències (16-100 kHz) i altes intensitats ( $10\text{-}1000 \text{ W/cm}^2$ ). En el segon cas sí que hi ha alteracions físiques i químiques de la mostra i és el tipus d'ultrasons en què se centrarà aquest treball.

## 1.2. Efectes i aplicacions dels ultrasons en aliments

Els efectes que poden tenir els ultrasons en els aliments són tant diversos com els aliments en si, ja que cada aliment té una composició diferent. Podrem obtenir efectes beneficiosos o perjudicials depenent on faci efecte el tractament. Les aplicacions i els seus respectius efectes són objectiu de recerca en l'actualitat. En la Figura 2 se'n resumeixen algunes de les conseqüències.

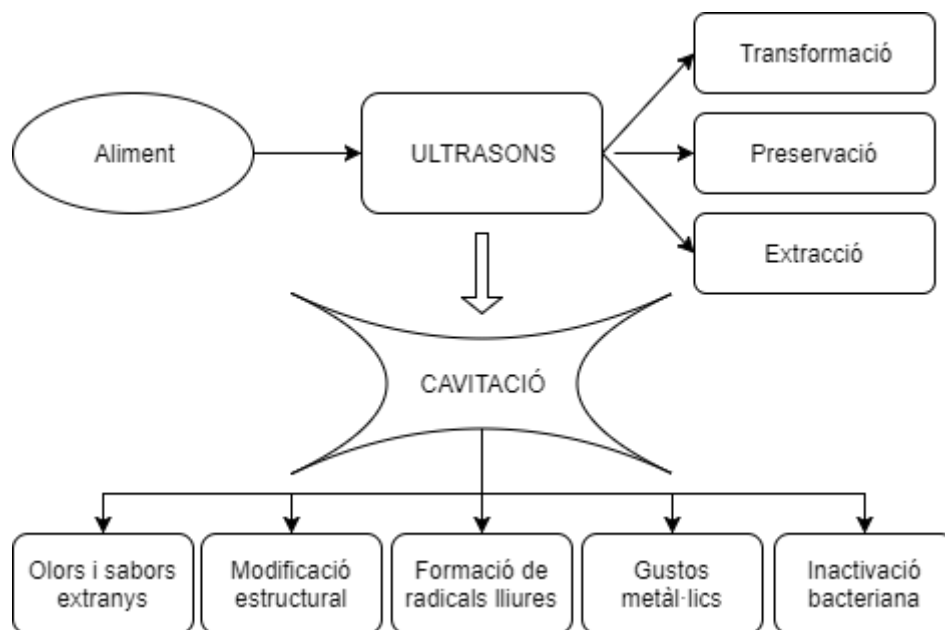


Figura 2. Efectes dels ultrasons. Font: adaptat de (Soria & Villamiel, 2010a)

Com es veu a la figura 2 els ultrasons poden ser utilitzats per la transformació, la preservació i la extracció de compostos gràcies, principalment, als efectes de la cavitació. Efectes com la generació de radicals lliures són considerats perjudicials per a compostos com els fenols, en canvi poden ser beneficiosos per altres degut a l'augment de la capacitat antioxidant (Soria & Villamiel, 2010b). Un altre efecte que ha estat investigat àmpliament per la seva importància és el de la inactivació bacteriana. La preservació dels aliments sense necessitat de fer tractaments tèrmics com la pasteurització o l'esterilització o l'ús de productes químics és beneficiosa ja que no danya compostos nutritius i sensorials propis de l'aliment tractat. La inactivació bacteriana per ultrasons és deguda a l'aprimament de les membranes cel·lulars, augments localitzats de temperatura i producció de radicals lliures. Durant la cavitació es creen ones de xoc que destrueixen els microorganismes, els augments de

temperatura els poden inactivar temporalment però no de forma permanent. (Piyasena, Mohareb, & Mckellar, 2003)

Els ultrasons s'utilitzen per modificar la reologia i textura de molts aliments basant-se en els efectes provocats a diferents macromolècules. També se sap que depenent de la intensitat dels ultrasons la viscositat pot augmentar o disminuir, i l'efecte pot ser permanent o temporal. Com tots els efectes descrits fins ara, el canvi en la viscositat és degut a la cavitació. Les forces que genera sobre líquids tixotròpics (un material tixotròpic és un fluid que pren un temps limitat per aconseguir la viscositat d'equilibri quan se li aplica un canvi pronunciat en la velocitat de cisallament) provoquen un descens temporal de la viscositat, ara bé, si s'aplica prou energia el descens pot ser permanent. En el cas dels vegetals rics en pectines els ultrasons poden inactivar enzims que les degraden i per tant els productes no perden la consistència (Terefe et al., 2016). Altres estudis s'han fet amb aliments rics amb midó com el blat de moro, l'arròs o la patata. Proves fetes amb midó de blat de moro demostren que a causa d'una escletxa parcial en els enllaços glicosídics i el consegüent descens del pes molecular es dona una baixada de viscositat. També, però, es pot donar un augment de viscositat en purés, arran de l'augment de penetració de la humitat en la xarxa que es forma als purés per l'acció dels ultrasons (Soria & Villamiel, 2010b).

Altres aplicacions destacades són l'extracció. Com en les altres aplicacions la cavitació fa possible l'obtenció dels compostos que volem extreure. El col·lapse de les bombolles a prop de la superfície de l'aliment destrueix les cèl·lules i allibera la substància a extreure. En el cas de l'extracció l'ús d'ultrasons significa un estalvi de dissolvents i converteix el procés en un procés fàcil i barat. Per altra banda, serà necessària una filtració posterior per poder obtenir els productes (Chemat, Zill-E-Huma, & Khan, 2011).

Aplicant els resultats de la sonicació s'ha investigat com es poden utilitzar en la indústria alimentària. L'aplicació pot ser de forma directa sobre l'aliment, en un bany que el contingui o sobre els estris o maquinària. A la taula 1 estan recollides aplicacions industrials que han vist millorat el seu rendiment amb la introducció d'ultrasons. En tots els casos l'avantatge principal és la reducció de temps del procés i també la millor

preservació dels aliments. A diferència de les aplicacions vistes anteriorment també aprofiten altres efectes dels ultrasons que no són la cavitació, com és la transferència de massa o calor, o la vibració.



Taula 1. Aplicacions dels ultrasons al processat d'aliments. Font adaptat de (Chemat &amp; Khan, 2011)

Aplicació	Mètode convencional	Principi dels US en el que es basa	Avantatges	Aliments en els que s'aplica
<b>Coccio</b>	Forn	Transferència de calor uniforme	Reducció de temps	Carn
	Fregidora		Millora la transferència de calor i les qualitats organolèptiques	Vegetals
	Bany maria		Reducció de temps	Carn
<b>Congelació/cristal·lització</b>	Congelador	Transferència de calor uniforme	Cristalls més petits	Vegetals
	Congelació per immersió o contacte		Millora la difusió	Fruites
			Descens de temperatura més ràpid	Làctics
<b>Assecat</b>	Atomització	Transferència de calor uniforme	Reducció de temps	Vegetals
	Corrents de vapor		Millora la transferència de calor i les qualitats organolèptiques	Fruites
	Congelació		Reducció de temps	Vegetals
<b>Marinat</b>	Salmorra	Augment de la transferència de massa	Millora les qualitats organolèptiques	Carn i peix
			Producte més estable	Formatge
			Reducció de temps	Xocolata
<b>Desgasificació</b>	Agitació mecànica	Fenomen de compressió-expansió	Reducció de temps	Productes fermentats (cervesa...)
			Millora en la higiene	
<b>Filtració</b>	Filtres (membranes semipermeables)	Vibració	Reducció de temps	Líquids (suc, ...)
			Millora de la eficiència	
<b>Desemmotllat</b>	Motlles engreixats, de tefló o silicona	Vibració	Reducció de temps	Productes cuinats (pastissos, ...)
			Reducció de pèrdues de producte	
<b>Antiespumant</b>	Tractament tèrmic, químic, elèctric i mecànic	Cavitació	Reducció de temps	Begudes carbonatades
			Millora en la higiene	Productes fermentats (cervesa, ...)
<b>Emulsificació</b>	Tractament mecànic	Cavitació	Reducció de temps	Emulsions (quètxup, maionesa, ...)
			Emulsions més estables	
<b>Oxidació</b>	Contacte amb l'aire	Cavitació	Reducció de temps	Alcohols (vi, whisky, ...)
			Reducció de temps	
<b>Tallat</b>	Ganivets	Cavitació	Reducció de temps	Productes fràgils (pastissos, formatge, ...)
			Reducció de pèrdues de producte	
			Tall precís i repetitiu	

### 1.3. El midó

El midó és un carbohidrat format per dos polisacàrids de glucosa, l'amilosa i l'amilopectina, que es troba als teixits vegetals i serveix com a reservori d'energia.

L'amilosa forma cadenes lineals amb l'enllaç  $\alpha$ -1,4-glucosidic (Fig.3) i amb 500 residus de glucosa i l'amilopectina ramificades amb els enllaços  $\alpha$ -1,4-glycosidic i  $\alpha$ -1,6-glycosidic (Fig.4), conté aproximadament  $10^5$  residus . La composició del midó sol ser de 20-30% d'amilosa i un 70-80% d'amilopectina, tot i que varia entre cada espècie vegetal. (Woolfe, 1987)(Burgess Clifford, n.d.)

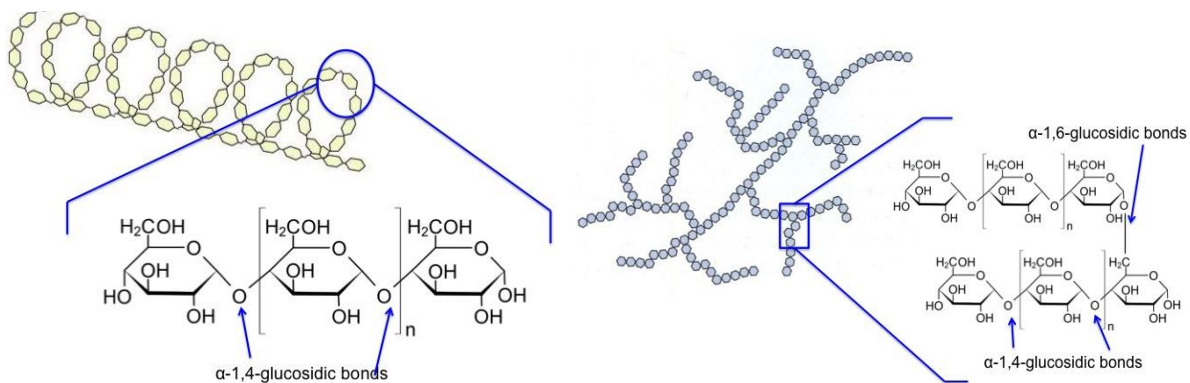


Figura 3. Esquema de l'esquelet d'amilosa (esquerra) i de l'amilopectina (dreta). Font: (Burgess Clifford, n.d.)

L'amilosa i l'amilopectina s'agrupen en grànuls que, en general, tenen una estructura definida en dues regions situades en forma d'anells. S'anomenen amorfa i cristal·lina. La regió amorfa està composta majoritàriament per amilopectina i augmenta el seu volum amb la presència d'aigua. Quan els grànuls s'hidraten les cadenes d'amilopectina es reorganitzen formant dobles hèlixs i en forma de làmina que compondrà un dels anells esmentats (Burgess Clifford, n.d.) .

Els glòbuls són de mida variable, però en la patata solen ser de 10-100  $\mu\text{m}$  i tenen forma lenticular. En el cas de la patata, juntament als grànuls hi trobem compostos de fòsfor en forma de fosfats units covalentment a l'amilopectina que contribueixen a les propietats que té el midó de patata (Bertoft & Blennow, 2016a).

A la figura 5 es pot veure una secció on es diferencien les dues regions en forma de làmina. Es veu clarament la diferència estructural, a la regió cristal·lina les cadenes s'organitzen de forma lineal i ordenada. A l'amorfa en canvi no s'hi veu un patró definit.

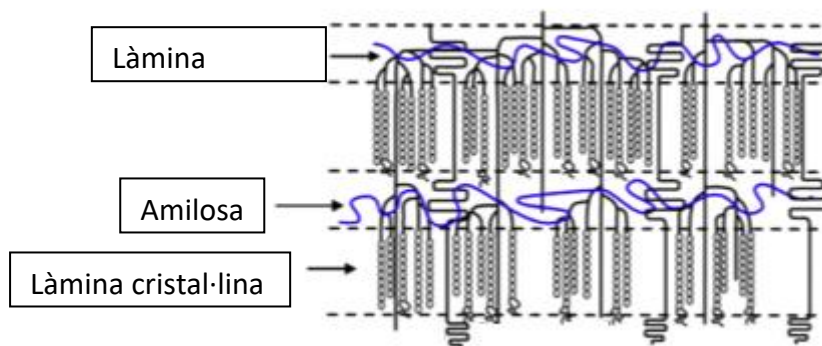


Figura 4. Organització estructural d'un grànel de midó. Font: adaptat de (Bertoft & Blennow, 2016b)

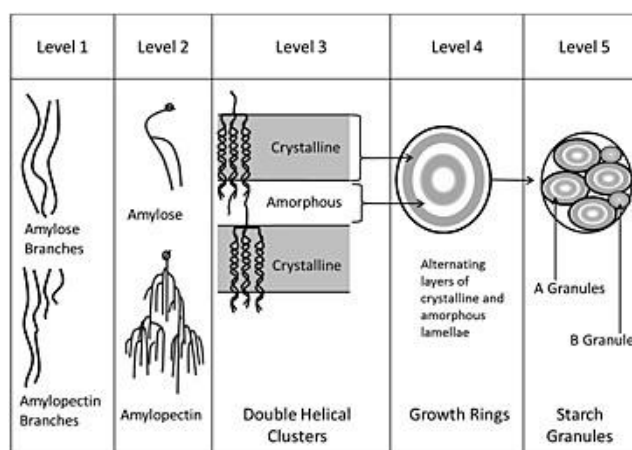


Figura 5. Nivells d'organització estructural del midó. Font: adaptat de (Gous, Fox, Gous, Gilbert, & Fox, 2015)

La Figura 6 mostra de forma detallada els nivells d'organització del midó des de l'amilosa i amilopectina sense ramificar fins als grànuls, passant per la formació de les làmines i anells de creixement dels grànuls de midó. Les interaccions que mantenen els grànuls amb aquesta estructura són interaccions febles: forces de Van der Waals i sobretot ponts d'hidrogen.

Amb presència d'aigua i temperatura elevada té lloc la gelificació del midó. És el procés pel qual es trenquen els grànuls de midó. Aquests s'inflen, la regió cristal·lina perd

l'estructura i s'hidrata la molècula. L'aigua queda atrapada a la regió amorfa. El gel resultant és altament viscos. Quan es refreda té lloc la retrogradació, és a dir, part de l'aigua és expulsada ja que la part cristal·lina recupera part de l'estructura original.

#### **1.4. Efectes dels ultrasons sobre el midó**

L'acció principal dels ultrasons és la destrucció de les interaccions febles que mantenen l'estructura dels grànuls de midó.

Els ultrasons d'alta potència (baixa freqüència) poden hidrolitzar molècules midó. Quan s'aplica al grànul causa dany mecànic, esquerdes i trencaments. Aquests danys exteriors es produeixen pel col·lapse de bombolles de cavitació a prop de la superfície que crea petits raigs d'aigua i la penetren formant túnels. Tot i això els danys se situen només a la superfície, a l'interior no s'observen canvis (Bai, Hébraud, Ashokkumar, & Hemar, 2017).

Com s'ha esmentat a l'apartat 1.2. experiments fets amb midó de blat de moro mostren que els ultrasons causen una petita escletxa als enllaços glicosídics i un consegüent descens en el pes molecular del midó.



## 2. Objectius

L'objectiu principal d'aquest treball és estudiar l'efecte dels ultrasons sobre la reologia de vegetals rics en midó i si aquesta tècnica pot ser útil per modificar la reologia de purés sense la necessitat d'additius.

Per aconseguir l'objectiu principal hi ha objectius específics que són:

- Estudiar l'efecte dels ultrasons sobre el midó de diferents vegetals. Se n'utilitzaran dues espècies; l'una amb alt contingut de midó, que serà la patata ( varietats Monalisa i Red Pontiac ) , i l'altra amb baix contingut de midó , la pastanaga.
- Avaluar els canvis que produeix el tractament d'ultrasons amb un posterior tractament tèrmic ( cocció al microones o el bullit )

### 3. Materials i mètodes

#### 3.1. Matèries primeres

La patata i la pastanaga, ambdós vegetals dels que s'aprofita la part subterrània i que actua com a magatzem d'energia, són en els que se centra aquest treball.

Les patates utilitzades són de la varietat Monalisa i Red Pontiac i les pastanagues de la varietat Nantesa. Les patates han estat obtingudes en fruïteries a granel i les pastanagues van ser comprades en un hipermercat en bosses d'1kg.

Des de l'arribada al laboratori les patates s'han mantingut a temperatura ambient i a les fosques i les pastanagues en una cambra a 4°C. Tots els vegetals s'han pelat i s'han tallat en daus d'1cm mitjançant un tallador de vegetals descartant els trossos més petits per permetre la homogeneïtat en els tractaments efectuats. La patata Monalisa (ML) es fa servir especialment per fregir, però és molt polivalent. De pell lisa, color groc pàl·lid i forma ovalada. El seu contingut mitjà de midó és del 17,5-18,5%. La patata Red Pontiac (RP), també coneguda com Dakota Chief, es fa servir per fritura i cocció. Té la pell vermella però l'interior és blanc. El seu contingut mitjà de midó és de 17-20%. (taula 2)

Taula 2. Composició nutricional mitjana de la patata. Font USDA

	Unitat	Contingut en 100g
<b>Aigua</b>	g	81,58
<b>Energia</b>	kcal	69
<b>Proteïna</b>	g	1,68
<b>Lípids (total)</b>	g	0,10
<b>Carbohidrats, per diferència</b>	g	15,71
<b>Fibra (total)</b>	g	2,40
<b>Sucres</b>	g	1,15

La pastanaga (PAS) (*Dacus carota*) és una planta biennal de la família de les apiàcies de la qual se'n consumeix l'arrel, de forma cònica. El seu contingut en midó és de menys de 1%. (taula 3)

Taula 3. Composició nutricional mitjana de la pastanaga. Font: USDA

	Unitat	Contingut en 100g
<b>Aigua</b>	g	88,29
<b>Energia</b>	kcal	41
<b>Proteïna</b>	g	0,93
<b>Lípids (total)</b>	g	0,24
<b>Carbohidrats, per diferència</b>	g	9,58
<b>Fibra (total)</b>	g	2,80
<b>Sucres</b>	g	4,74

## 3.2. Equips utilitzats

### 3.2.1. Bany d'ultrasons

Les mostres s'han sonicat amb un bany d'ultrasons de baixa potència amb capacitat de tres litres de la marca Branson, model 2510 de 40 kHz de freqüència.



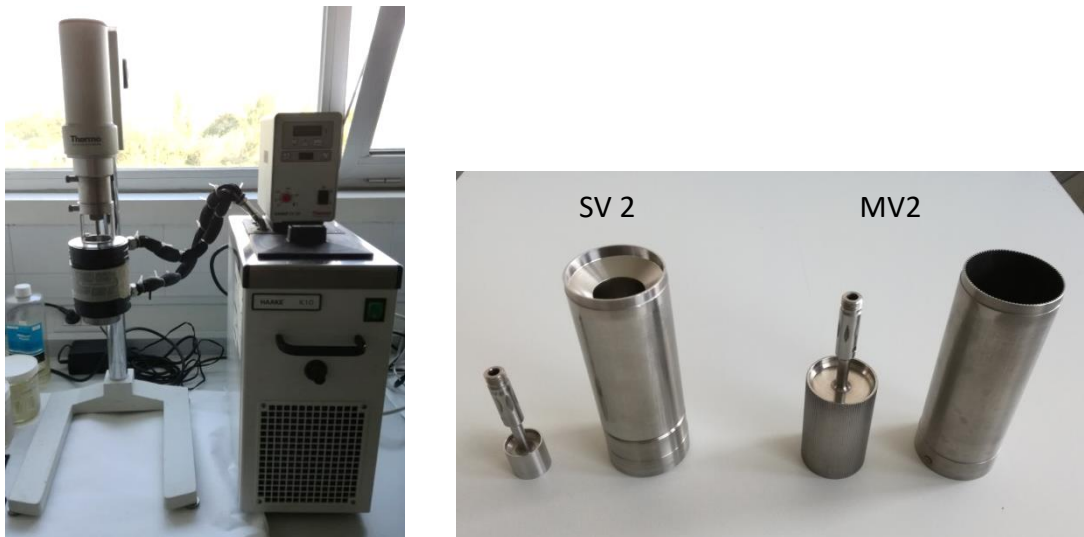
Imatge 1. Bany d'ultrasons Branson 2510

### 3.2.2. Reòmetre

L'aparell utilitzat per fer les mesures reològiques de les mostres és un viscosímetre rotacional HAAKE Viscotester K10 (Img. 2). Es disposa de dues sondes dissenyades per

rangs de viscositat diferents. La MV2P serveix per mostres amb baixa viscositat i la SV 2 per mostres amb alta viscositat (Img. 2).

L'aparell es controla amb el programari RheoWin 4.41.19, des d'on es programa el mètode descrit en l'apartat 3.4.1.



Imatge 2. Reòmetre Haake Viscotester (esquerra) i sondes del reòmetre (dreta)

### 3.3. Tractaments tèrmics

A totes les mostres se'ls han aplicat dos tractaments tèrmics diferents per facilitar el triturat i homogeneïtzació de la mostra, cocció amb microones i bullida.

Per la cocció amb microones s'ha utilitzat un microones convencional a màxima potència (700 W). Les mostres s'han col·locat en un recipient de plàstic amb vàlvula d'escapament de vapor.

En el cas de les dues varietats de patata s'ha fet un tractament de 1,5 min de durada i sense aigua afegida. En canvi amb la pastanaga ha estat necessària l'addició d'aigua fins a cobrir els daus de mostra per evitar que es cremessin, ja que el temps de tractament és de 10 min.

La mostra bullida s'ha preparat amb aigua destil·lada i proporció 1/3 durant 12 minuts en el cas de les patates i 35 minuts la pastanaga.

### 3.4. Disseny experimental

El disseny experimental s'ha dividit en dos blocs, en el primer s'han fet proves preliminars per trobar la metodologia adequada per fer les mesures. En el segon, un cop ajustat el disseny experimental, s'han dut a terme els experiments.

#### Proves preliminars:

Es va començar amb la varietat de patata Monalisa i amb tres temps de tractament d'ultrasons ( 0 min, 5 min, 20 min). El resultat era una mostra molt difícil de triturar amb l'equip disponible i, per tant, no homogènia i sense consistència (se separaven fàcilment les dues fases, líquida i sòlida). Es podien distingir fàcilment trossos de patata. Tot i això es va portar al reòmetre. Es va utilitzar la sonda MV2P, dissenyada per mostres amb baixa viscositat. Els resultats obtinguts no eren bons a causa de l'heterogeneïtat de la mostra.

Vistos els resultats anteriors es va proposar fer una cocció de la patata per obtenir-ne una mostra amb textura de puré que, per tant, seria més homogènia.

Es va seguir amb la varietat Monalisa i es van decidir els temps de cada tractament tèrmic: 1,5 minuts de cocció al microones i 12 minuts de tractament amb aigua bullent. Es va utilitzar la mateixa sonda que en la prova anterior però, en aquest cas, no va funcionar, la mostra era més viscosa i no permetia la rotació de la sonda. Per tant, es va canviar a la sonda SV 2, dissenyada per a mostres amb viscositats elevades.

A la figura 1 es resumeix el procediment dut a terme. Cada lot de mostra es prepara al moment per no alterar les qualitats del midó.

Un cop pelats i tallats els vegetals es pesen per tenir mostres de 70g aproximadament, els necessaris per a fer totes les preses de dades. El bany d'ultrasons es prepara amb una proporció d'una part de mostra i quatre d'aigua.

El batut es fa a màxima potència ( 700 W) i durant 1 min en les patates i 1,5 min en la pastanaga.

Un cop triturada la mostra es porta al reòmetre i es fan 4 preses de mostra, a 0, 5, 10 i 15 minuts després de l'inici. La primera mostra de cada sèrie es deixa temperar 5 minuts al reòmetre per aconseguir que la temperatura baixi a 20°C. Cada mostreig dura 90 segons, es neteja la sonda i es posa mostra nova. Es deixa el temps restant fins a 5 minuts, per permetre l'atemperament i es fa el següent mostreig. Es repeteix el procediment 3 vegades, obtenint així 4 preses de dades de cada mostra preparada.

De cada variable se'n fan 3 repeticions.

Un cop fetes totes les anàlisis descrites anteriorment i vistos els resultats es decideix fer una sèrie més d'anàlisis amb la varietat Monalisa amb tractament de microones i 2 minuts d'ultrasons. Es considera interessant ja que la tixotropia observada en les mostres de 5 i 20 minuts d'ultrasons presenten valors molt similars. La hipòtesi és que l'efecte dels ultrasons és molt ràpid i es vol veure quins són els resultats amb un temps intermedi entre el no tractament i els 5 minuts. Es fan 3 sèries més amb 2 minuts d'ultrasons.

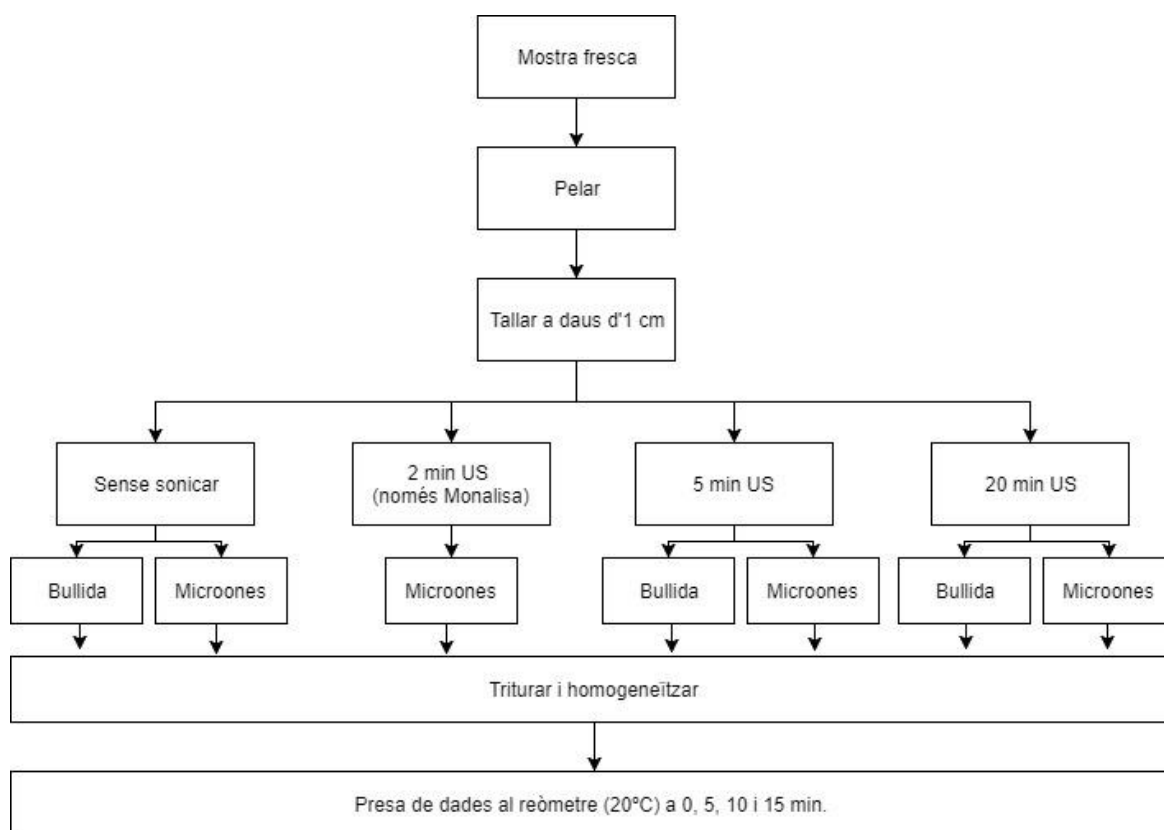


Figura 6: Disseny experimental

Taula 4. Mostres, tractaments i repeticions realitzades

Mostra	Abreviació	Tractament d'ultrasons	Tractament tèrmic	Temps tractament tèrmic	Repeticions
Patata Monalisa	ML	0 minuts	Microones i bullida	Micro: 1,5 min	3
		2 minuts	Microones	Bullida: 12 min	3
		5 minuts	Microones i bullida		3
		20 minuts	Microones i bullida		3
Patata Red Pontiac	RP	0 minuts	Microones i bullida	Micro: 1,5 min	3
		5 minuts	Microones i bullida	Bullida: 12 min	3
		20 minuts	Microones i bullida		3
Pastanaga	PAS	0 minuts	Microones i bullida	Micro: 10 min	3
		5 minuts	Microones i bullida	Bullida: 35 min	3
		20 minuts	Microones i bullida		3

### 3.4.1. Mètode reòmetre

Per tal de recollir les dades que ens interessen s'ha programat el reòmetre de la següent manera.

- 1a fase: Rampa de velocitat ascendent ( 0,01 1/s – 10 1/s) en 30 segons.

- 2a fase: Velocitat constant ( $10 \text{ 1/s}$ ) en 30 segons.
- 3a fase: Rampa de velocitat descendent ( $10 \text{ 1/s} - 0,01 \text{ 1/s}$ ) en 30 segons.

Durant tot el procés la temperatura és constant,  $20^\circ\text{C}$ .

El programari (RheoWin) recull les dades de temps, viscositat, velocitat de cisallament i tensió tangencial.

### 3.5. Paràmetres analitzats

#### 3.5.1 Viscositat

La viscositat és una propietat intrínseca dels fluids, és la mesura de la resistència al moviment quan se li aplica una tensió tangencial (Shear stress,  $\tau$ ) (Tabilo-Munizaga & Barbosa-Cánovas, 2005). S'ha mesurat amb el reòmetre HAAKE Viscotester amb la sonda SV2. S'expressa en Pa·s.

#### 3.5.2. Tixotropia

Aquest paràmetre ens indica el comportament de la mostra envers l'esforç que se li aplica. Un comportament tixotròpic ens mostra la reducció de la força estructural durant el període d'augment de velocitat i, per tant, més estrès, i la recuperació o no durant el període de repòs (Tabilo-Munizaga & Barbosa-Cánovas, 2005). Com més alta sigui la tixotropia voldrà dir que el fluid no ha recuperat l'estructura durant el període de repòs, en canvi una tixotropia baixa ens indica la ràpida recuperació de l'estructura o que la força feta durant el període de càrrega no l'afecta.

La tixotropia es calcula a partir del gràfic tensió tangencial/velocitat de cisallament representat a la Figura 8. En aquest gràfic observem un cicle, l'àrea d'aquest és la tixotropia.



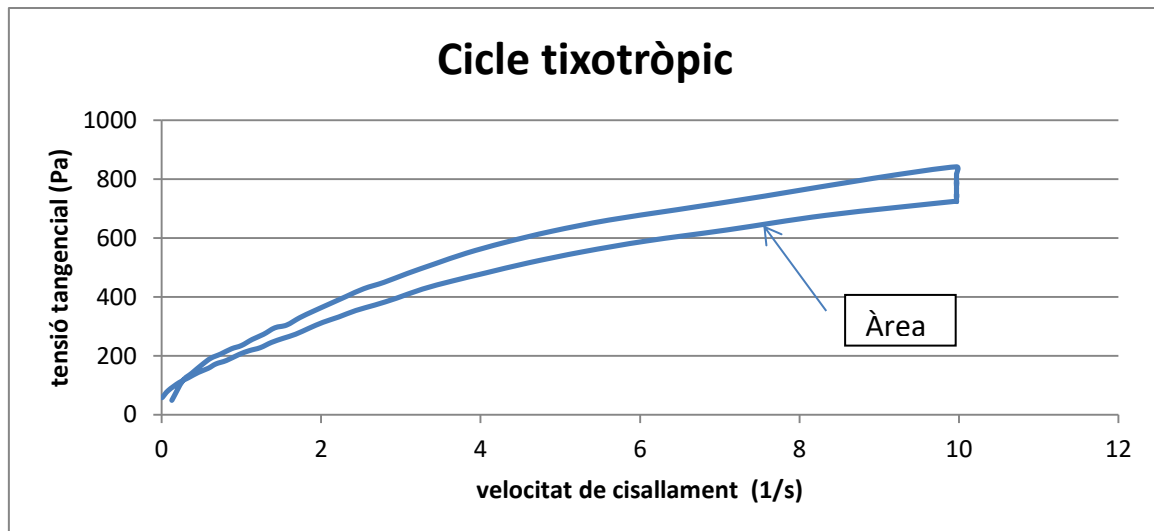


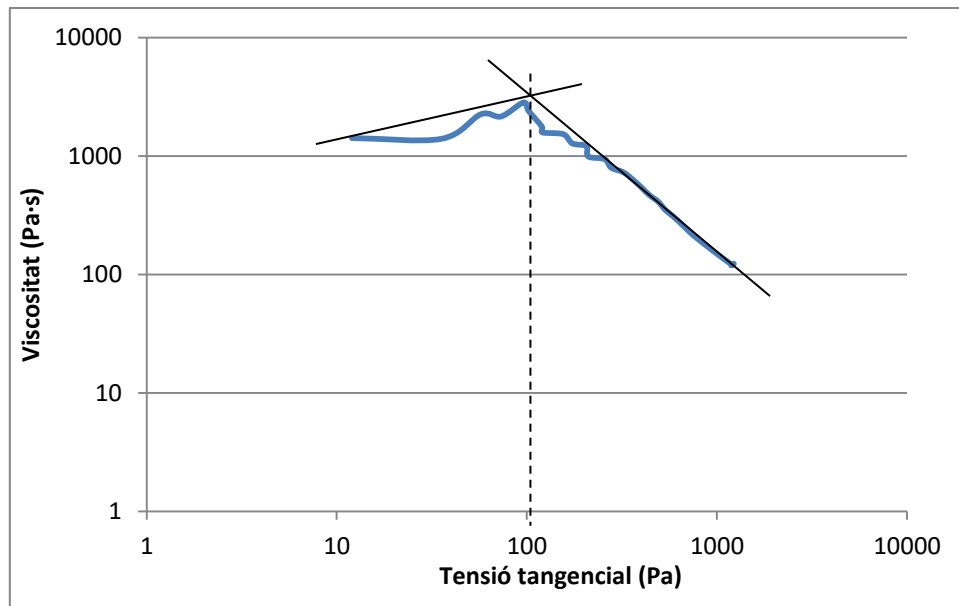
Figura 7. Exemple de cicle tixotròpic. Font: elaboració pròpia

Avaluarem aquestes àrees per saber si la tensió aplicada durant la fase de càrrega sobre el puré provoca un trencament més o menys permanent en l'estructura del midó.

### 3.5.3. Límit elàstic basat en el mètode de la rampa

Mitjançant el gràfic amb els paràmetres viscositat i tensió tangencial (*shear stress*) podem trobar la força que cal per trencar gran part de les interaccions del fluid. En aquest punt és quan la viscositat decreix perquè part de l'estructura interna cedeix a l'estrès aplicat, és el punt en què la mostra 'comença a fluir'. Una altra informació que ens donarà aquesta representació gràfica serà l'homogeneïtat de la mostra, pel que fa a les diferents interaccions que participen de la resistència de la mostra. Si la mostra és molt homogènia (totes les interaccions que intervenen en la viscositat són les mateixes) la caiguda des del punt de trencament tindrà un pendent pronunciat, és a dir que perdrà resistència rapidament, en canvi en mostres heterogènies (que tenen molts tipus d'interaccions) el pendent d'aquest tram serà més suau; perdran resistència de forma més gradual.

La manera de calcular la força és fent la intersecció entre les rectes tangents que podem extreure de la corba (Fig. 9). En aquest treball aquest punt es trobarà de forma gràfica.



**Figura 8. Exemple gràfic viscositat/tensió tangencial**

### 3.6. Anàlisi de dades

Les dades recollides pel programari RheoWin s'exporten en documents de format excel per fer-ne el tractament. Amb l'excel es fan les mitjanes i les desviacions típiques de les tres repeticions que tenim de cada tipus de mostra i se n'elaboren els gràfics.

## 4. Resultats i discussió

### 4.1. Viscositat

La viscositat ha estat analitzada utilitzant les dues primeres parts del procés descrit a l'apartat 3.4.1., és a dir la rampa ascendent de velocitat i el període de velocitat constant. En aquest període podem observar el pic de viscositat i la seva posterior baixada fins a l'estabilització. Es volen comparar les corbes segons la varietat i segons el tractament d'ultrasons i tèrmic aplicat.

#### 4.1.1. Comparació segons tractaments separats per varietats

##### 4.1.1.1. Monalisa

El primer que podem veure a simple vista és la divisió de les mostres en dos grups. Les mostres amb viscositats més elevades són les que han estat cuites al microones i les inferiors les bullides. Les diferències més grans, per tant, es veuen entre tractaments tèrmics (microones vs. bullit) i no segons els diferents temps de sonicació. Tot i això, si ens fixem en el grup de mostres amb tractament amb microones la viscositat va decreixent conforme augmenta el temps de sonicació. Les viscositats de mostres al microones són de l'ordre de 2000-3500 Pa·s. En canvi en mostres bullides no supera els 1200Pa·s.

Al gràfic s'hi inclouen les barres de variació estàndard. A causa del creuament d'aquestes barres entre si no podem afirmar que hi hagi diferències significatives entre les mostres. Si ens fixem en les variàncies veiem que només és significativa la diferència entre mostres bullides sense ultrasons i amb 20 minuts d'ultrasons amb les mostres de microones, tot i que només a la part inicial de la corba, quan es van estabilitzant els valors, les diferències ja no són significatives. Podem remarcar també que la desviació és menor en les mostres bullides que en les de microones.

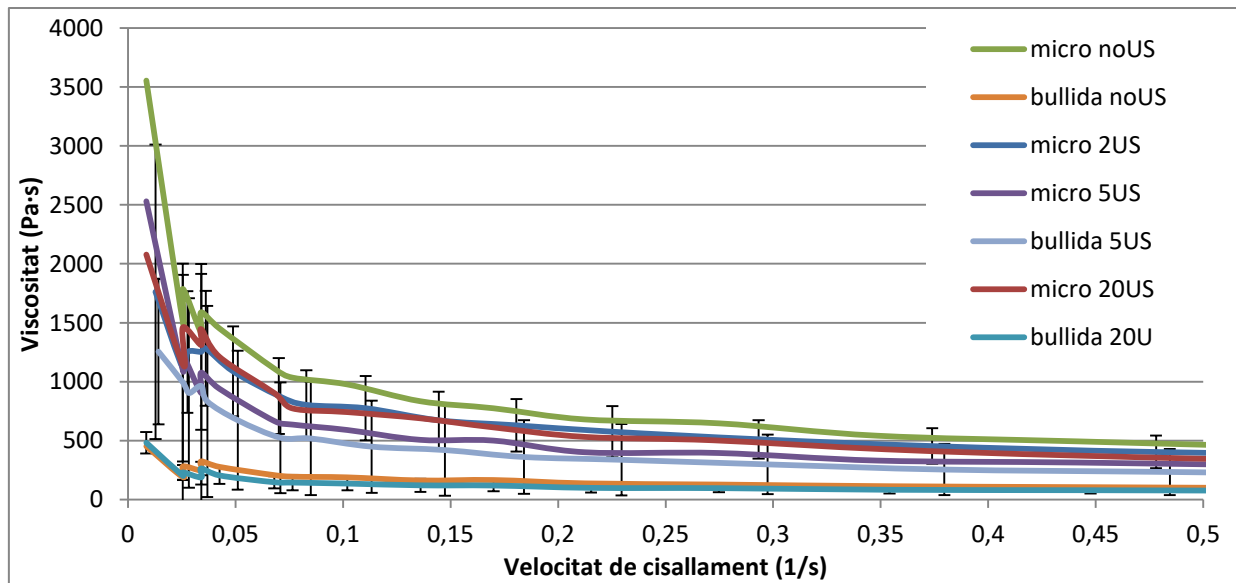


Figura 9. Viscositats segons tractament tèrmic i d'ultrasons en patata Monalisa

#### 4.1.1.2. Red pontiac

Amb la segona varietat de patata veiem que els resultats són similars als de Monalisa. Altre cop la diferència entre mostres al microones i les bullides és el que destaca principalment. Veiem (Fig. 11) que no són distingibles les corbes dels diferents temps de tractament d'ultrasons en ambdós casos. Sobretot en les tres mostres bullides, les corbes es trepitgen, no podem diferenciar-les excepte pel pic de la mostra sense sonicar, que és superior als altres dos. El mateix passa amb les mostres al microones, tot i que, en aquest cas, l'ordre en què es presenten els pics és diferent. La corba corresponent als 20 minuts d'ultrasons és la que està per sota de la que no té tractament d'ultrasons en lloc de la mostra de 5 minuts de sonicat. Tal com passa amb la varietat Monalisa (Fig.10) les barres de variació estàndard es toquen entre les corbes de diferent temps d'ultrasons però no ho fan entre els dos tractaments tèrmics.

Els valors màxims de viscositat són de fins a 10000 Pa·s en mostres al microones i en mostres bullides els valors se situen aproximadament entorn als 2000 Pa·s, és a dir, fins a 5 vegades més gran en les de microones i només 1,5 vegades més en el cas de les bullides si les comparem amb la varietat Monalisa.

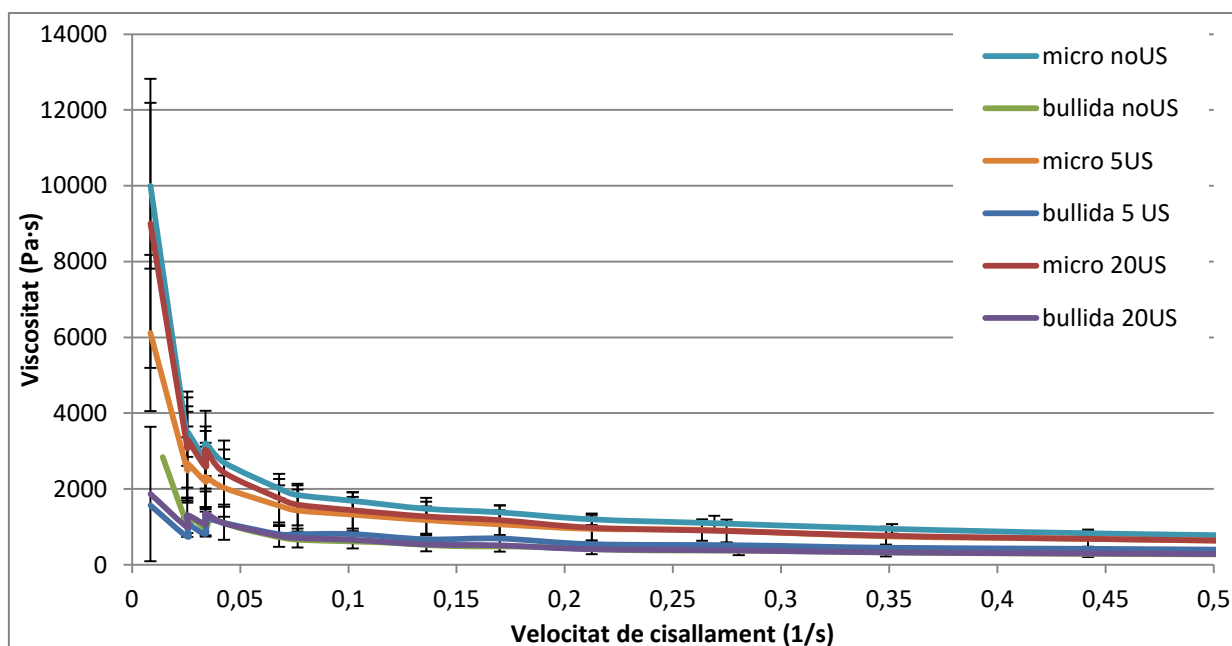


Figura 10. Viscositat segons tractament tèrmic i d'ultrasons en patata red pontiac

#### 4.1.1.3. Pastanaga

Finalment, amb la pastanaga s'observa un efecte similar als vistos anteriorment amb les patates. És a dir, s'observa una clara divisió entre els tractaments tèrmics a simple vista. Val a dir que la separació entre els dos grups és més pronunciada en aquest cas. Però quan s'introdueixen les barres de desviació estàndard al gràfic s'observa que la variació és encara més gran amb la pastanaga del que era amb la patata i que només la barra de la sèrie tractada al microones i sense ultrasons ja ocupa tota l'alçada de l'eix vertical. Aquest fet podria ser causat per una major heterogeneïtat de la mostra. La pastanaga no presenta una distribució homogènia dels seus components, sinó que estan distribuïts de forma diferent en les seves estructures internes, per tant, encara que la mostra s'hagi homogeneïtzat i triturat aquest fet provoca una major variació. Un altre aspecte a destacar és que el pic màxim en les mostres bullides apareix més tard que en cap altre cas i que algunes de les corbes presenten més d'un pic.

Les viscositats són de l'ordre de 3000-4500 Pa·s en el cas de les mostres tractades amb microones i de 700-1300 Pa·s en bullides, uns valors que estan entre el de les patates Red Pontiac (fins a 10000 Pa·s microones i 2000 Pa·s bullides) i les Monalisa (2000-3500 Pa·s microones i 1200Pa·s bullides).

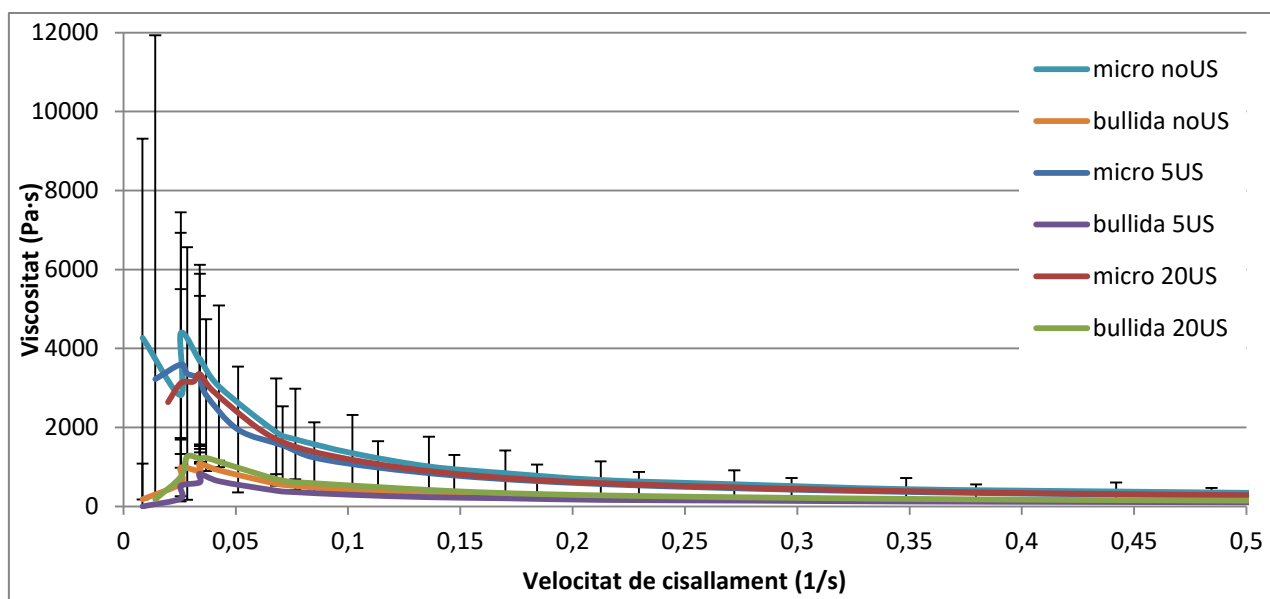


Figura 11. Viscositat segons tractament tèrmic i d'ultrasons en pastanaga

#### 4.1.2. Comparació segons la varietat de patata i el tractament d'ultrasons de les mostres preparades al microones

Un cop vistos els resultats separats per varietat i que el comportament és similar en totes les mostres pel que fa als dos tractaments tèrmics realitzats s'escull el microones per a la comparació entre varietats, ja que el fet de bullir les mostres emmascara l'efecte dels ultrasons.

A la figura 13 hi ha els resultats corresponents a les varietats Monalisa i Red Pontiac. Podem extreure'n que la varietat Red Pontiac dona com a resultat una viscositat fins a 5 vegades més gran que la de la Monalisa, fet que es podria relacionar amb un major contingut de midó o en una relació MR/MT (midó resistent/ mido total) més baixa en el cas de la varietat Red Pontiac.

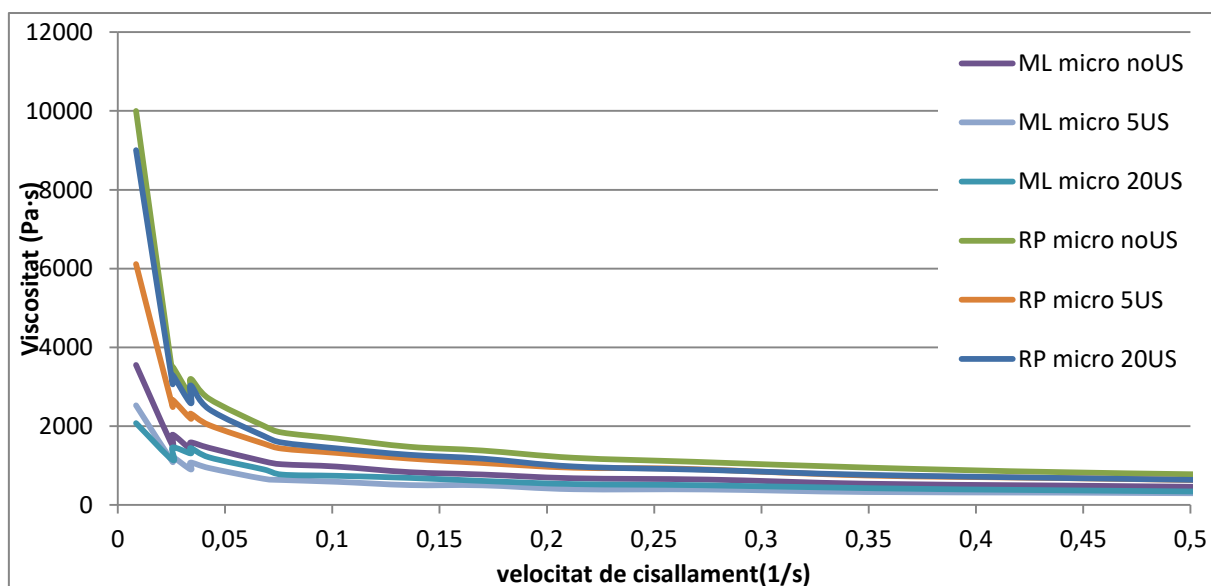


Figura 12. Viscositats de les varietats Monalisa i Red Pontiac tractades al microones

## 4.2. Tixotropia

En els gràfics de les dues varietats de patata (Fig. 14 i Fig. 15) observem que les sèries s'agrupen en tres grups diferenciats, les mostres bullides tenen uns valors semblants, més baixos. Amb valors superiors hi ha la patata cuita i tractada al microones però sense ultrasons. Seguidament i agrupades hi ha aquelles mostres tractades amb microones i ultrasons durant 5 i 20 min. L'efecte dels ultrasons pot ser tant ràpid que no hi ha pràcticament diferència entre la mostra de 5 min d'ultrasons i la de 20 min. En canvi, sí que es veu com han afectat els dos tractaments tèrmics. Les mostres bullides mostren valors d'àrea tixotròpica inferior, i a més no s'observen diferències entre els tractaments d'ultrasons. L'efecte que provoca el tractament tèrmic del bullit és, per tant, superior al que fan els ultrasons.

Pel que fa a la tendència que segueixen les línies amb els diferents temps no podem afirmar cap canvi notori en el fet de deixar la mostra reposar de 5 a 15 minuts després de preparar-la.

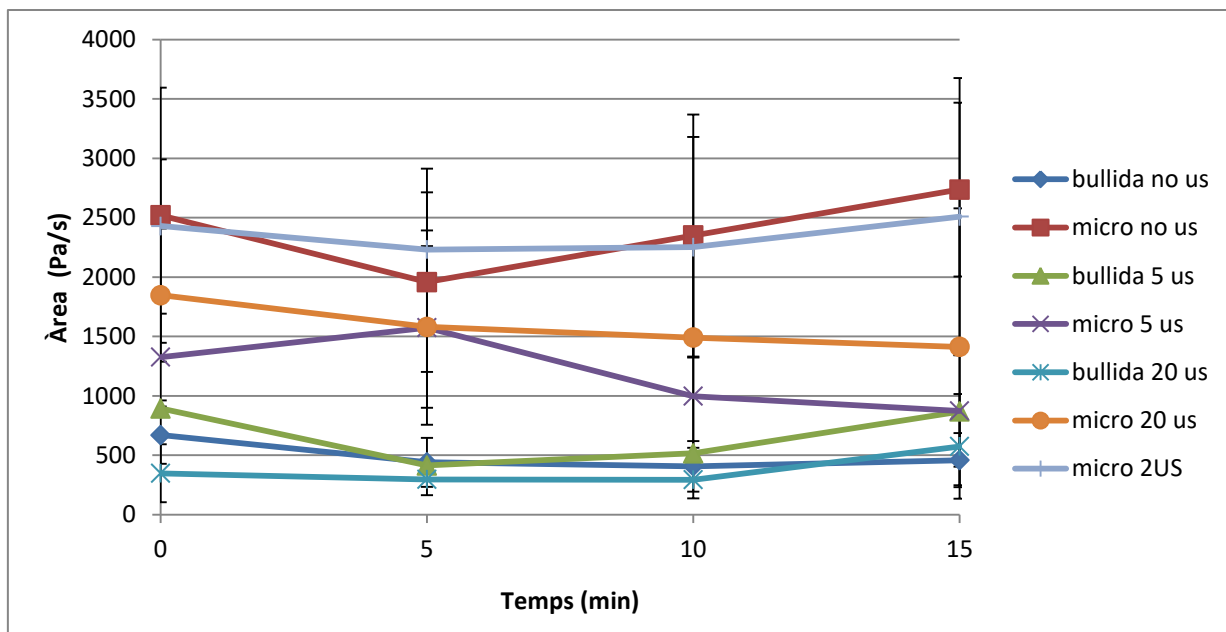


Figura 13. Àrea tixotòpica segons el tractament tèrmic i d'US en la varietat Monalisa

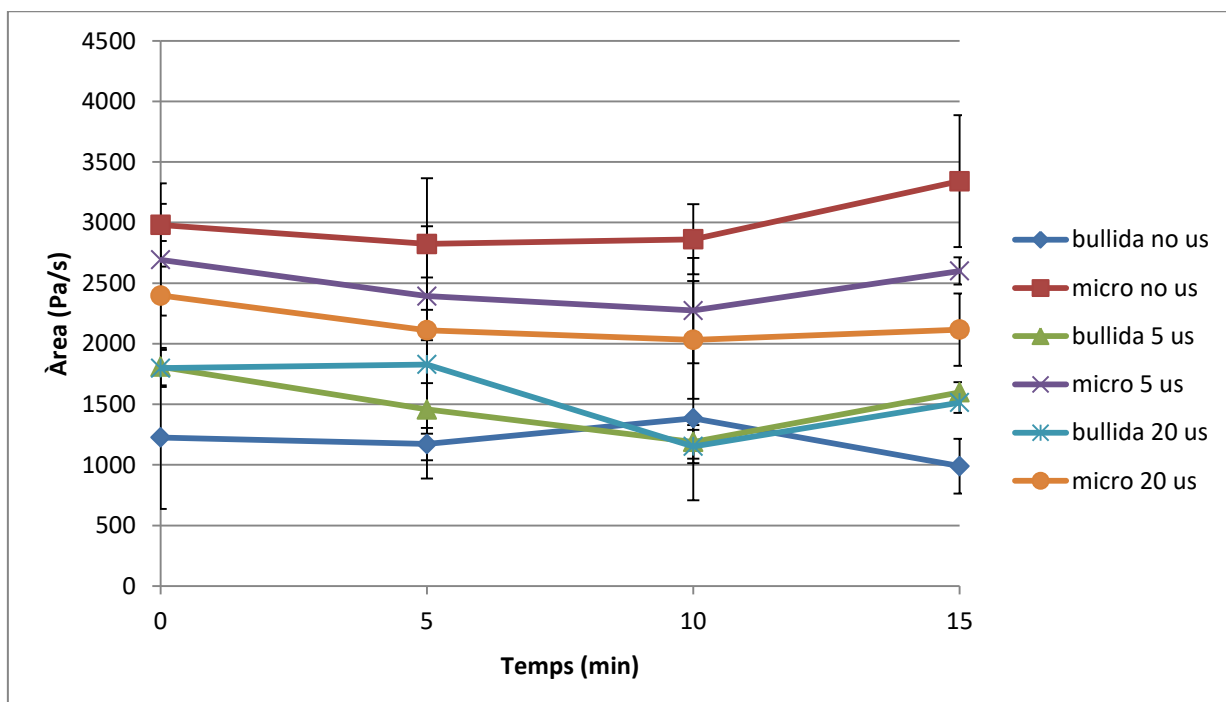


Figura 14. Gràfic comparatiu de l'àrea tixotòpica segons el tractament tèrmic i d'US en Red Pontiac

En el cas de la pastanaga (Fig.16) el gràfic és diferent. La complexitat de la matèria primera es veu reflectida en la variabilitat que presenten les sèries del gràfic. Tot i que sí que s'observa una certa agrupació entre les mostres bullides i al microones la diferència no és tan clara. Les diferents línies estan molt pròximes i, fins i tot, s'arriben a tocar, per tant, el patró vist en la patata no es repeteix.



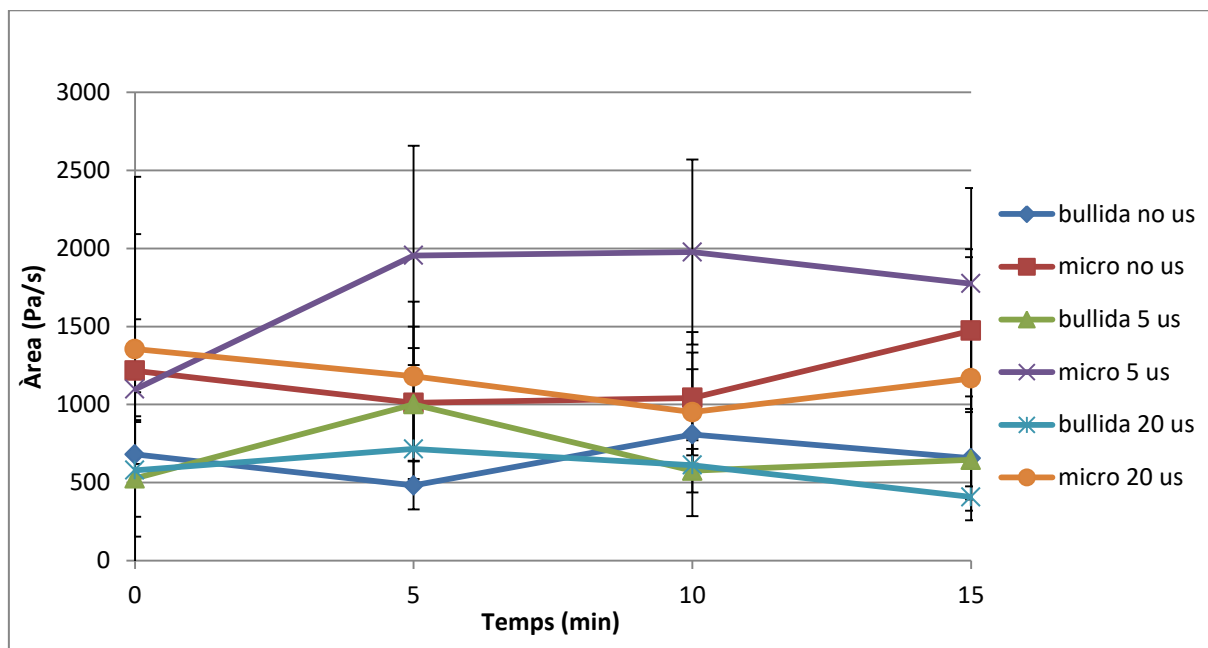


Figura 15. Gràfic comparatiu de l'àrea tixotròpica segons el tractament tèrmic i d'US en PAS

La diferència entre els gràfics de les dues varietats de patata i el de pastanaga es podria explicar amb la composició tan diferent que tenen la patata i la pastanaga. La pastanaga té més presència de compostos com sucres, fibra o carotens la qual cosa permet que hi hagi més interaccions entre tots els seus compostos que els que es puguin donar entre els components de la patata, que en gran part és midó. Aquesta heterogeneïtat podria ser la causant de la diferència en els efectes entre uns i altres. També aquest mateix fet podria explicar la variació dels valors d'àrea que hi ha entre els temps de presa de mostra en la pastanaga. En alguns casos es veu una pujada a mesura que augmenta el temps, és a dir, que aquest repòs pot restablir alguna de les moltes interaccions diferents i fer que la resistència de la mostra augmenti en relació a la que s'acaba de triturar.

Les tendències que s'observen no es poden afirmar amb total seguretat degut a la gran desviació obtinguda de les mesures. Només en el cas de la patata Red Pontiac (Fig.14) als 15 min veiem diferències significatives entre les sèries, excepte les que estan bullides i amb 5 i 20 minuts d'ultrasons.

### 4.3. Límit elàstic basat en el mètode de la rampa

Amb aquest paràmetre analitzarem la tensió que resisteix la mostra mitjançant el mètode explicat a l'apartat 3.4.1. i l'homogeneïtat de la mateixa observant el pendent final de la corba. Aquesta força és la necessària per trencar les interaccions moleculars i que el puré comenci a fluir.

En tots tres casos s'observa una certa agrupació de mostres al microones envers a les bullides. Les preparades al microones se situen en valors més elevats de límit elàstic. En la varietat Monalisa (Fig.17) veiem una major varietat en les corbes, tot i que a la part final sí que s'agrupen segons tractament tèrmic i d'ultrasons tal com es podia preveure. A la part inicial es creuen i segueixen patrons diferents. En canvi en la Red Pontiac (Fig.18) i la pastanaga ( Fig.19) es veu un patró més definit. A la taula 4 trobem els valors aproximats de límit elàstic de cada corba. En tots els casos els valors són superiors en aquelles mostres tractades al microones. Si ens fixem en la variació quan apliquem ultrasons les diferències són reduïdes: els valors varien només entre un 2-8%. En canvi sí que veiem una gran variació en la varietat Monalisa. El límit elàstic en les mostres que no han estat sonicades és gairebé 5 vegades més gran que en les que han patit la sonicació. Una de les causes pot ser la degradació del midó causada per la cavitació de l'estructura granular (Pingret & Chemat, 2013), és a dir, trencant interaccions febles que mantenen els grànuls amb la seva forma.

Taula 5. Taula resum de valors de límit elàstic

		ML	RP	PAS
<b>Sense US</b>	Bullida	106	42	38
	Micro	216	83	111
<b>2 US</b>	Micro	74	-	-
<b>5 US</b>	Bullida	27	41	28
	Micro	46	96	118
<b>20 US</b>	Bullida	45	40	41
	Micro	45	74	101

Pel que fa als pendents i, per tant, a l'homogeneïtat dels purés veiem uns pendents similars en les dues varietats de patata. Són rectes on s'hi pot diferenciar un sol

pendent i menys pronunciat que en el cas de la pastanaga, fet que indica que les interaccions que intervenen en la viscositat es trenquen de forma regular a mida que augmenta la força sobre la mostra. Això també ens indica l'homogeneïtat d'aquestes interaccions. El canvi el notem en la pastanaga (Fig. 19). A la baixada podem distingir fins a tres pendents de diferent intensitat. Aquesta diferència entre les patates i la pastanaga és deguda a una distribució heterogènia dels compostos que la formen. En pastanagues velles el cor ocupa una part més gran i és majoritàriament fibra mentre que la resta de compostos es distribueixen pel voltant. Una pastanaga més jove no tindrà tanta fibra i per tant la distribució serà diferent. En canvi la patata és homogènia pel que fa a la distribució del midó al seu interior. A més a més, en la viscositat de la pastanaga intervenen altres compostos a part del midó, amb altres interaccions, i per tant amb resistències diferents a l'estrès. Aquest fet és el que provoca la diferenciació entre els diferents trams de recta.

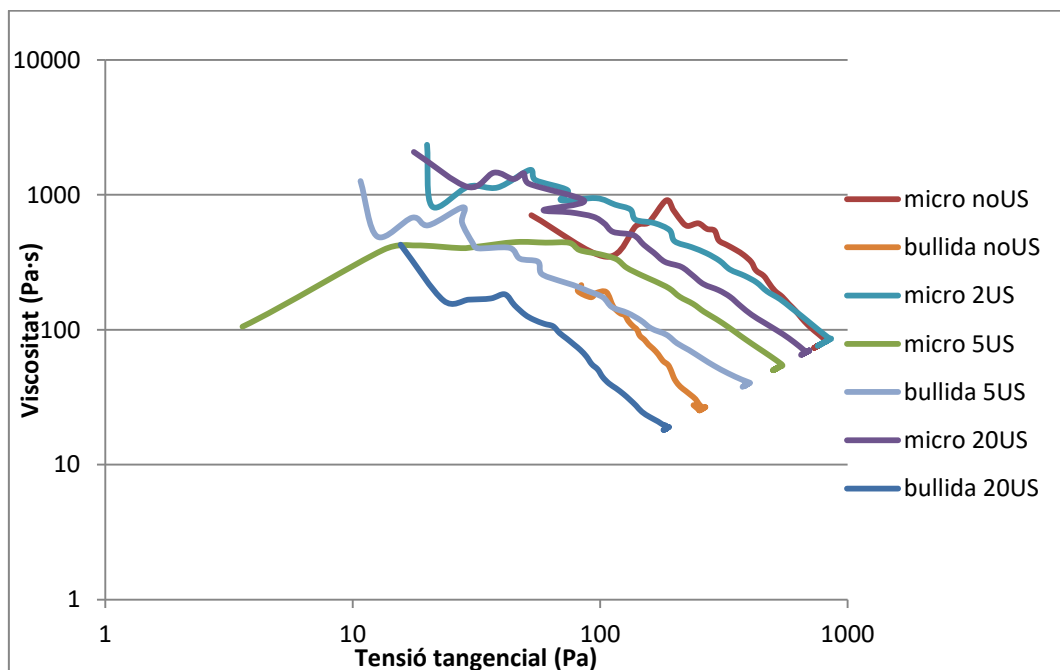


Figura 16. Límit elàstic basat en el mètode de la rampa en la varietat monalisa



## 5. Conclusions

Dels resultats experimentals obtinguts en aquest treball podem concloure que:

- El tractament de cocció amb aigua al voltant del 100°C (bullit) té un efecte més important sobre la patata i pastanaga que el produït pels ultrasons. És a dir, que les altes temperatures (100°C) i temps prolongat (12 min) trenquen interaccions del midó, segurament ponts d'hidrogen entre l'aigua i el midó, i dóna com a resultat un descens de la viscositat més gran que el provocat per la sonicació.
- S'ha observat que en les mostres tractades al microones la sonicació provoca un descens de la viscositat i la tixotropia dels purés. A major temps de sonicació menors són els valors de viscositat i tixotropia. Per tant és possible modificar aquests paràmetres reològics de purés, però només per provocar un descens dels paràmetres esmentats. En cap cas els resultats mostren que es pugui provocar l'augment de viscositat mitjançant aquesta tècnica.
- La comparació de les àrees tixotròpiques dels tres vegetals ens indica que la patata varietat Red Pontiac presenta valors més elevats que la varietat, Monalisa. En el cas de la pastanaga els valors obtinguts són similars a la varietat Monalisa.
- De les corbes de límit elàstic se n'extreu la diferència que existeix entre l'homogeneïtat i la composició entre les dues espècies vegetals. També mostren que el límit elàstic és major en mostres tractades al microones que en les que han estat bullides i que l'efecte dels diferents temps d'ultrasons no és massa destacable.
- Les anàlisis reològiques realitzades mostren resultats molt variables, per tant, seria convenient acabar de confirmar les conclusions d'aquest treball amb més repeticions en futurs estudis.

## 6. Bibliografia

- Bai, W., Hébraud, P., Ashokkumar, M., & Hemar, Y. (2017). Investigation on the pitting of potato starch granules during high frequency ultrasound treatment. *Ultrasonics Sonochemistry*, 35, 547–555. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2016.05.022>
- Bertoft, E., & Blennow, A. (2016a). *Structure of Potato Starch. Advances in Potato Chemistry and Technology* (Second Edi). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-800002-1.00003-0>
- Bertoft, E., & Blennow, A. (2016b). *Structure of Potato Starch. Advances in Potato Chemistry and Technology: Second Edition* (Second Edi). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-800002-1.00003-0>
- Burgess Clifford, C. (n.d.). 6.2.1 Starch | EGEE 439. Retrieved September 4, 2017, from <https://www.e-education.psu.edu/egee439/node/662>
- Chemat, F., Zill-E-Huma, & Khan, M. K. (2011). Applications of ultrasound in food technology: Processing, preservation and extraction. *Ultrasonics Sonochemistry*, 18(4), 813–835. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2010.11.023>
- Gous, P. W., Fox, G. P., Gous, P. W., Gilbert, R. G., & Fox, G. P. (2015). and its impact on grain quality : A review Drought-proo fi ng barley ( Hordeum vulgare ) and its impact on grain quality : A review, (March). <https://doi.org/10.1002/jib.187>
- Pingret, D., & Chemat, F. (2013). Degradation during application of ultrasound in food processing : A review. *Food Control*. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2012.11.039>
- Piyasena, P., Mohareb, E., & Mckellar, R. C. (2003). Inactivation of microbes using ultrasound : a review, 87, 207–216. [https://doi.org/10.1016/S0168-1605\(03\)00075-8](https://doi.org/10.1016/S0168-1605(03)00075-8)
- Soria, A. C., & Villamiel, M. (2010a). Effect of ultrasound on the technological properties and bioactivity of food : a review. *Trends in Food Science & Technology*, 21(7), 323–331. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2010.04.003>
- Soria, A. C., & Villamiel, M. (2010b). Effect of ultrasound on the technological properties and bioactivity of food: A review. *Trends in Food Science and Technology*, 21(7), 323–331. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2010.04.003>
- Suslick, K. (1994). THE CHEMISTRY OF ULTRASOUND. Retrieved September 4, 2017, from <http://www.scs.illinois.edu/suslick/sonochembrittanica.html>
- Tabilo-Munizaga, G., & Barbosa-Cánovas, G. V. (2005). Rheology for the food industry. *Journal of Food Engineering*. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2004.05.062>
- Terefe, N. S., Sikes, A. L., Juliano, P., & Plains, C. (2016). Ultrasound for Structural Modification of Food Products 8. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100294-0.00008-0>

Woolfe, J. A. (1987). *The potato in the human diet*. Cambridge: Cambridge University Press.

### 6.1. Recursos electrònics

USDA Agricultural Research Service United States Department of Agriculture. National Nutrient Database. Disponible a: <http://ndb.nal.usda.gov/ndb/search/list> [Consulta 29 d'agost de 2017]